



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110261492 B

(45) 授权公告日 2021. 11. 23

(21) 申请号 201910398391.X

US 2019076122 A1, 2019.03.14

(22) 申请日 2019.05.14

刘明宇 等. 基于二进制编码的管道缺陷超声检测方法研究.《压电与声光》.2018, 第40卷(第06期),

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110261492 A

Shoupeng Song et al.. Sparse decomposition-based 3D ultrasound imaging and its application in pipeline defect testing using a multi-transducer composite array.《Nondestructive Testing and Evaluation》.2018,

(43) 申请公布日 2019.09.20

(73) 专利权人 江苏大学
地址 212013 江苏省镇江市京口区学府路301号

王荣扬 等. 伪随机序列超声测距系统及FPGA实现.《仪表技术与传感器》.2013, (第02期),

(72) 发明人 宋寿鹏 邱越 乔梦丽 陈昊成芮萱

王荣扬. 钢绳芯胶带表面形貌超声自动无损检测关键技术研究.《中国优秀硕士学位论文全文数据库 工程科技I辑》.2013, (第02期), (续)

(51) Int. Cl.
G01N 29/34 (2006.01)

审查员 张哲

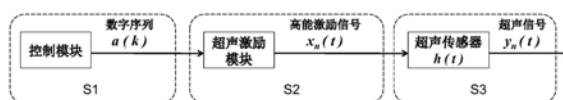
- (56) 对比文件
- CN 107807361 A, 2018.03.16
 - CN 105628795 A, 2016.06.01
 - CN 105738885 A, 2016.07.06
 - CN 101819184 A, 2010.09.01
 - CN 104034809 A, 2014.09.10
 - CN 104807894 A, 2015.07.29
 - CN 104765027 A, 2015.07.08
 - CN 107402255 A, 2017.11.28
 - CN 108375634 A, 2018.08.07
 - CN 1316227 A, 2001.10.10
 - CN 103654861 A, 2014.03.26
 - CN 1414384 A, 2003.04.30
 - US 2017014866 A1, 2017.01.19
 - US 2009240148 A1, 2009.09.24

权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称
一种数字序列驱动超声传感器的方法及装置

(57) 摘要
本发明公开了一种数字序列驱动超声传感器的方法及装置,该方法包括:S1、以FPGA或ARM等数字芯片为核心构成的控制模块产生逻辑电平作为数字序列a(k);S2、以超声激励芯片为核心的超声激励模块产生高能激励信号x_n(t)

(t);S3、高能激励信号激励超声传感器产生激励信号可控的超声波信号y_n(t)。该方法实现装置包括控制模块、超声激励模块以及超声传感器模块。本发明中超声激励信号参数可调,特别适用于需要不同波形激励单个或多个超声传感器的场合。



[转续页]

CN 110261492 B

[接上页]

(56) 对比文件

Thanassis Misaridis et al..Use of Modulated Excitation Signals in Medical Ultrasound.Part I: Basic Concepts and Expected Benefits.《iee transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control》.2005,第52卷(第02期),

Thanassis Misaridis et al..Use of Modulated Excitation Signals in Medical Ultrasound Part II: Design and Performance for Medical Imaging Applications.《iee transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control》.2005,第52卷(第02期),

1. 一种数字序列驱动超声传感器的方法,其特征在于,所述方法包括:

S1、以数字芯片构成控制模块产生逻辑电平作为数字序列 $a(k)$;

S2、以超声激励芯片组成超声激励模块产生高能激励信号 $x_n(t)$;

所述步骤S2具体为:

控制模块输出的数字序列个数由所需激励的超声传感器数目确定,数字序列长度由所需激励的超声信号类型确定;

超声激励模块的供电形式为双极性直流电压供电,电源采用AC-DC模式,将220V交流电转换为直流可调电压源,直流电压源电压值即为高能激励信号的幅值;

所述步骤S2还包括:

超声激励芯片由控制模块通过逻辑电平进行控制,每2个控制引脚控制1路超声激励信号,1路高能激励信号 $x_1(t)$ 由其相对应的2路数字序列 $\alpha_1(k)$ 与 $\alpha_2(k)$ 进行组合控制,当数字序列由0跳变至1时视为高能激励信号的上升沿,数字序列由1跳变至0时视为高能激励信号的下降沿,数字序列为1且不跳变时则将高能激励信号输出进行保持,由此形成数字序列与高能激励信号的控制关系 $x_1(t) = \alpha_1(k) EG(t - k_1\tau_1) - \alpha_2(k) EG(t - k_2\tau_2)$,其中, $G(t - k\tau)$ 是长度为 τ 的窗函数并且 $G(\omega) = \tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})$,时间常数 τ 即为数字序列高电平的保持时间; E 为电源模块提供给超声激励模块的直流电压幅值;各路高能激励信号之间互相独立,可同时分别产生不同的高能激励信号 $x_1(t)$ 至 $x_n(t)$,即,

$$\begin{aligned} x_n(t) &= \alpha_{2n-1}(k)EG(t - k_{2n-1}\tau_{2n-1}) - \alpha_{2n}(k)EG(t - k_{2n}\tau_{2n}) \\ &= \sum_{k_{2n-1}=1}^K [\frac{2}{\pi} b_{k_{2n-1}} EG(t - k_{2n-1}\tau_{2n-1}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n-1}t)] \\ &\quad - \sum_{k_{2n}=1}^K [\frac{2}{\pi} b_{k_{2n}} EG(t - k_{2n}\tau_{2n}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n}t)] \end{aligned}$$

其中, $\alpha_{2n-1}(k)$ 和 $\alpha_{2n}(k)$ 分别为 $2n-1$ 、 $2n$ 路数字序列; K 为激励信号的总长度, $G(t - k_{2n-1}\tau_{2n-1})$ 是长度为 τ_{2n-1} 的窗函数, $G(t - k_{2n}\tau_{2n})$ 是长度为 τ_{2n} 的窗函数,并且 $G(\omega) = \tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})$; $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 均为0或1的逻辑值,由控制模块给出; $\frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n-1}t)$ 是基频为 ω_{2n-1} 的方波信号傅里叶三角函数展开式, $\frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n}t)$ 是基频为 ω_{2n} 的方波信号傅里叶三角函数展开式, ω_{2n-1} 与 ω_{2n} 即由 $\alpha_{2n-1}(k) G(t - k_{2n-1}\tau_{2n-1})$ 与 $\alpha_{2n}(k) EG(t - k_{2n}\tau_{2n})$ 进行控制; E 为电源模块提供给超声激励模块的直流电压幅值; $n \in Z^+$,为所需激励传感器个数;

S3、高能激励信号激励超声传感器产生激励信号可控的超声波信号 $y_n(t)$ 。

2. 根据权利要求1所述的数字序列驱动超声传感器方法,其特征在于,所述步骤S1具体为:

通过编程使控制模块产生高电平为+3.3V、低电平为0V的逻辑电平作为数字序列控制信号 $a(k)$,控制模块输出的单路数字序列 $a(k)$ 表达式为:

$$\alpha(k) = \sum_{k=1}^K b_k A$$

其中, K 为序列的总长度, K 的步长由控制模块的时钟信号确定, b_k 为由控制模块给出的0

或1的逻辑值,A为逻辑电平幅值,数字序列的逻辑顺序 b_k 由编程进行改变。

3. 根据权利要求1所述的数字序列驱动超声传感器方法,其特征在于,所述步骤S2还包括:

对超声激励信号形式的控制由对控制模块进行编程来实现,其中,激励信号中心频率、相位、脉冲宽度、脉冲个数、码元频率、码元组合、编码持续时间、重复频率参数均由控制模块改变控制引脚的逻辑时序 $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 、逻辑电平持续时间 $G(t-k_{2n-1}\tau_{2n-1})$ 与 $G(t-k_{2n}\tau_{2n})$ 来调节。

4. 根据权利要求2所述的数字序列驱动超声传感器方法,其特征在于,编程的具体过程为:控制模块FPGA程序经开发软件编译调试后生成“.jic"文件,通过JTAG方式将FPGA程序下载到SPI FLASH上进行固化,由FPGA的33至36号程序引脚读取SPI FLASH中固化的程序进行控制模块的运行。

5. 根据权利要求1所述的数字序列驱动超声传感器方法的装置,其特征在于,包括控制模块、超声激励模块以及超声传感器模块;所述控制模块分别连接电源及超声激励模块,超声激励模块连接超声传感器模块;控制模块用于产生逻辑电平作为数字序列;超声激励模块用于产生高能激励信号,高能激励信号激励超声传感器产生激励信号可控的超声波信号。

一种数字序列驱动超声传感器的方法及装置

技术领域

[0001] 本发明属于超声检测技术领域,涉及一种数字序列驱动超声传感器的方法及装置。该发明中超声激励信号参数可调,特别适用于需要不同波形激励超声传感器的场合。

背景技术

[0002] 超声检测是一种重要的无损检测手段,在国内外的发展与应用非常广泛。近年来以电子科学与技术为基础的集成电路快速发展,在此基础上,超声检测系统正向着数字化、集成化、功能化与便携化方向发展。目前的超声信号激励形式可分为脉冲激励形式与编码激励形式,脉冲激励产生方式简单,易于调节,但激励脉冲的幅值就决定了始波的峰值声功率,而发射能量不能无限制的增大,因此往往会造成峰值声功率已经接近超声换能器或被测物体的安全极限而平均声功率仍然较低。平均声功率由脉冲宽度决定,提高平均声功率需要增加脉冲宽度,这会导致距离分辨率的降低。因此传统的单脉冲激励在提高声功率与提高分辨率上存在着一定的矛盾。编码激励形式使用一组连续的编码序列替代单脉冲激励宽带超声换能器,激励持续时间大于单脉冲的脉冲宽度,提高了平均声功率,进行脉冲压缩后可以得到与单脉冲宽度接近但幅值更大的解码脉冲,从而提高信噪比。同时,对于传感器阵列形式的超声检测设备,使用编码激励还可对各个超声换能器进行信源标识,利于解算各种声场参数(宋寿鹏,刘明宇,基于二进制编码的管道缺陷超声检测方法研究[J].压电与声光,2018(6))。

[0003] 目前市场上的超声传感器激励方式,大部分通过模拟电路或主控芯片激励特定频率与特定功率的检测超声波,存在功能单一、可调节范围小、使用不够灵活等不足,不便于在复杂场合进行多功能超声波激励。

发明内容

[0004] 针对上述超声激励技术存在的不足,本发明的目的在于提供一种数字序列驱动超声传感器的方法及装置,产生单路或多路超声激励信号,用于激发单个传感器或传感器阵列,并且每路超声传感器可根据激励需求,分别采用多种脉冲或编码形式激励。本发明特别适用于需要不同波形激励超声传感器的场合,并且超声激励信号参数可调。实现本发明的技术方案如下:

[0005] S1、以FPGA或ARM等数字芯片为核心构成的控制模块产生逻辑电平作为数字序列控制信号 $a(k)$;

[0006] S2、以超声激励芯片为核心组成的超声激励模块产生高能激励信号 $x_n(t)$;

[0007] S3、高能激励信号激励超声传感器产生激励信号可控的超声波信号 $y_n(t)$ 。

[0008] 本发明中,所述步骤S1具体为:

[0009] 通过软件编程使控制模块产生高电平为+3.3V、低电平为0V的逻辑电平作为数字序列控制信号 $a(k)$,控制模块输出的单路数字序列 $a(k)$ 表达式为:

$$[0010] \quad \alpha(k) = \sum_{k=1}^K b_k A$$

[0011] 其中,K为序列的总长度,K的步长由控制模块的时钟信号确定, b_k 为由控制模块给出的0或1的逻辑值,A为逻辑电平幅值。数字序列的逻辑顺序 b_k 可由编程进行改变。

[0012] 所述步骤S2具体为:

[0013] 控制模块输出的数字序列个数与超声激励芯片数目由所需激励的超声传感器数目确定,数字序列长度由所需激励的超声信号类型确定;

[0014] 超声激励模块的供电形式为双极性直流电压供电,电源采用AC-DC模式,可将220V交流电转换为直流可调电压源,直流电压源电压值即为高能激励信号的幅值。

[0015] 所述步骤S2还包括:

[0016] 超声激励芯片由控制模块通过逻辑电平进行控制,每2个控制引脚控制1路超声激励信号,1路高能激励信号 $x_1(t)$ 由其相对应的2路数字序列 $\alpha_1(k)$ 与 $\alpha_2(k)$ 进行组合控制,当数字序列由0跳变至1时视为高能激励信号的上升沿,数字序列由1跳变至0时视为高能激励信号的下降沿,数字序列为1且不跳变时则将高能激励信号输出进行保持,由此形成数字序列与高能激励信号的控制关系 $x_1(t) = \alpha_1(k) EG(t - k_1 \tau_1) - \alpha_2(k) EG(t - k_2 \tau_2)$,其中, $G(t - k\tau)$ 是长度为 τ 的窗函数并且 $G(\omega) = \tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})$,时间常数 τ 即为数字序列高电平的保持时间;E为电源模块提供给超声激励模块的直流电压幅值;各路高能激励信号之间互相独立,可同时分别产生不同的高能激励信号 $x_1(t)$ 至 $x_n(t)$,即:

$$[0017] \quad \begin{aligned} x_n(t) &= \alpha_{2n-1}(k) EG(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1}) - \alpha_{2n}(k) EG(t - k_{2n} \tau_{2n}) \\ &= \sum_{k_{2n-1}=1}^K [\frac{2}{\pi} b_{k_{2n-1}} EG(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n-1} t)] \\ &\quad - \sum_{k_{2n}=1}^K [\frac{2}{\pi} b_{k_{2n}} EG(t - k_{2n} \tau_{2n}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n} t)] \end{aligned}$$

[0018] 其中,K为激励信号的总长度, $G(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1})$ 是长度为 τ_{2n-1} 的窗函数, $G(t - k_{2n} \tau_{2n})$ 是长度为 τ_{2n} 的窗函数,并且 $G(\omega) = \tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})$; $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 均为0或1的逻辑值,由控制模块给出; $\frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n-1} t)$ 是基频为 ω_{2n-1} 的方波信号傅里叶三角函数展开式, $\frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n} t)$ 是基频为 ω_{2n} 的方波信号傅里叶三角函数展开式, ω_{2n-1} 与 ω_{2n} 即由 $\alpha_{2n-1}(k) G(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1})$ 与 $\alpha_{2n}(k) EG(t - k_{2n} \tau_{2n})$ 进行控制;E为电源模块提供给超声激励模块的直流电压幅值; $n \in Z^+$,为所需激励传感器个数。

[0019] 所述步骤S2还包括:

[0020] 对超声激励信号形式的控制由对控制模块进行编程来实现,例如产生单个正向脉冲、单个正负双向脉冲、多个脉冲组合、调相编码形式、调频编码形式等;其中,激励信号中心频率、相位、脉冲宽度、脉冲个数、码元频率、码元组合、编码持续时间、重复频率等参数均可由控制模块改变控制引脚的逻辑时序 $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 、逻辑电平持续时间 $G(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1})$ 与 $G(t - k_{2n} \tau_{2n})$ 来调节。

[0021] 本发明中,所述步骤S3具体为:

[0022] 高能激励信号 $x_n(t)$ 激励超声传感器 $h_n(t)$ 产生超声信号 $y_n(t)$ 。

[0023] 本发明的数字序列驱动超声传感器方法的装置,包括控制模块、超声激励模块以及超声传感器模块;所述控制模块分别连接电源及超声激励模块,超声激励模块连接超声传感器模块;控制模块用于产生逻辑电平作为数字序列;超声激励模块用于产生高能激励信号,高能激励信号激励超声传感器产生激励信号可控的超声波信号。

[0024] 本发明具有以下有益效果:使用数字序列驱动超声传感器,不同于现有的使用电容充放电、使用D/A转换产生激励信号或使用DDS技术产生激励信号等激励方式。本发明的优点在于通过对控制模块进行编程产生数字序列 $a_1(k)$ 至 $a_{2n}(k)$ 即可精确控制超声激励信号的通道数量与激励形式,操作便捷,调整速度快,产生的超声激励信号种类丰富,激励效果好。控制模块仅需3.3V直流供电,超声激励模块接收的直流供电电压值即为激励信号幅值,供电方式简单,超声激励信号幅值易于调节。选择超声传感器 $h_n(t)$ 并调整相应的高能激励信号 $x_n(t)$ 即可产生所需超声信号 $y_n(t)$,使用灵活,适用于需要不同波形激励超声传感器的场合,并且超声激励信号参数可控,可根据实际检测的需求产生多种形式的超声信号。

附图说明

[0025] 图1为本发明方法流程框图

[0026] 图2为本发明实施例中超声传感器任意数字序列激励装置总体原理框图

[0027] 图3为本发明实施例中控制模块原理框图

[0028] 图4为本发明实施例中控制模块电路图

[0029] 图5为本发明实施例中超声激励模块原理框图

[0030] 图6为本发明实施例中超声激励模块电路图

[0031] 图7为本发明实施例进行二进制编码000激励实施效果图,其中,(a)图展示的是控制模块中数字芯片I/O引脚输出的数字序列 $\alpha_{2n-1}(k) - \alpha_{2n}(k)$; (b)图展示的是超声激励模块输出的高能激励信号 $x_n(t)$; (c)图展示的是得到的实测超声信号 $y_n(t)$

[0032] 图8为本发明实施例进行二进制编码101激励实施效果图,其中,(a)图展示的是控制模块中数字芯片I/O引脚输出的数字序列 $\alpha_{2n-1}(k) - \alpha_{2n}(k)$; (b)图展示的是超声激励模块输出的高能激励信号 $x_n(t)$; (c)图展示的是得到的实测超声信号 $y_n(t)$;

具体实施方式

[0033] 以下结合附图和实施例对本发明的技术方案做进一步描述。需要说明的是,本发明还可以通过其他等效实施方式加以应用,以下实施例中所提供的实施方式与附图说明仅以示例方式说明本发明的基本技术构想,实施例中的相关元件的型号、数目、形状、尺寸等参数在具体实施环境中可进行改变。

[0034] 图2为本发明实施例中超声传感器任意数字序列激励装置总体原理框图。激励装置以FPGA最小系统组成控制模块,控制信号为高电平+3.3V,低电平0V的逻辑电平;以HV7351超声激励芯片及其外围电路组成超声激励模块,可同时产生多通道多种类的超声激励信号。电源采用AC-DC工作模式,为控制模块及超声激励模块供电。

[0035] 图3为本发明实施例中控制模块原理框图,图4为本发明实施例中控制模块电路图。电源提供+3.3V直流电压为FPGA最小系统供电,+3.3V电源电压通过0.1uF电容CX1接入

有源晶振使有源晶振产生时钟信号,时钟频率为50MHz,由有源晶振3号引脚输出,接入FPGA的时钟信号引脚,为FPGA提供时钟信号,FPGA输出信号的最短周期为20ns。+3.3V直流电压同时接入FPGA的电源引脚,FPGA的接地引脚同时接入数字地,数字地通过0欧姆电阻与电源地连接。FPGA程序经开发软件编译调试后生成“.jic”文件,通过JTAG方式将FPGA程序下载到SPI FLASH上进行固化,由FPGA的33至36号程序引脚读取SPI FLASH中固化的程序进行控制模块的运行。FPGA其余的I/O引脚均可输出高为+3.3V、低为0V的逻辑电平,输出数字序列 $a_1(k)$ 至 $a_{2n}(k)$,对超声激励模块的控制均以逻辑电平的形式,控制模块输出的单路数字序列 $\alpha(k)$ 形式为:

$$[0036] \quad \alpha(k) = \sum_{k=1}^K b_k A$$

[0037] 其中,K为序列的总长度, b_k 为由控制模块给出的0或1的逻辑值,A为逻辑电平幅值。

[0038] 图5为本发明实施例中超声激励模块原理框图。超声激励模块以HV7351超声芯片为核心,每片HV7351芯片包含16个控制引脚,控制引脚接受逻辑电平控制;每片HV7351可同时分别输出8路不同种类的高能激励数字序列,即每2个控制引脚控制1路高能激励信号,1路高能激励信号 $x_1(t)$ 由其相对应的2路数字序列 $\alpha_1(k)$ 与 $\alpha_2(k)$ 进行组合控制,当数字序列由0跳变至1时视为高能激励信号的上升沿,数字序列由1跳变至0时视为高能激励信号的下降沿,数字序列为1且不跳变时则将高能激励信号输出进行保持,由此形成数字序列与高能激励信号的控制关系 $x_1(t) = \alpha_1(k) EG(t - k_1 \tau_1) - \alpha_2(k) EG(t - k_2 \tau_2)$,其中, $G(t - k\tau)$ 是长度为 τ 的窗函数并且 $G(\omega) = \tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})$,时间常数 τ 即为数字序列高电平的保持时间;E为电源模块提供给超声激励模块的直流电压幅值;各路高能激励信号之间互相独立,可同时分别产生不同的高能激励信号 $x_1(t)$ 至 $x_n(t)$,即:

$$[0039] \quad \begin{aligned} x_n(t) &= \alpha_{2n-1}(k) EG(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1}) - \alpha_{2n}(k) EG(t - k_{2n} \tau_{2n}) \\ &= \sum_{k_{2n-1}=1}^K [\frac{2}{\pi} b_{k_{2n-1}} EG(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_1 t)] \\ &\quad - \sum_{k_{2n}=1}^K [\frac{2}{\pi} b_{k_{2n}} EG(t - k_{2n} \tau_{2n}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_2 t)] \end{aligned}$$

[0040] 其中,K为激励信号的总长度, $G(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1})$ 是长度为 τ_{2n-1} 的窗函数, $G(t - k_{2n} \tau_{2n})$ 是长度为 τ_{2n} 的窗函数,并且 $G(\omega) = \tau Sa(\frac{\omega\tau}{2})$; $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 均为0或1的逻辑值,由控制模块给出; $\frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n-1} t)$ 是基频为 ω_{2n-1} 的方波信号傅里叶三角函数展开式, $\frac{2}{\pi} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2(\frac{m\pi}{2}) \sin(m\omega_{2n} t)$ 是基频为 ω_{2n} 的方波信号傅里叶三角函数展开式, ω_{2n-1} 与 ω_{2n} 即由 $\alpha_{2n-1}(k) G(t - k_{2n-1} \tau_{2n-1})$ 与 $\alpha_{2n}(k) EG(t - k_{2n} \tau_{2n})$ 进行控制;E为电源模块提供给超声激励模块的直流电压幅值; $n \in Z^+$,为所需激励传感器个数;超声激励模块中超声芯片的数目由所需激励的超声传感器个数决定。

[0041] 图6为本发明实施例中超声激励模块电路图。IN1至IN16为超声芯片的16个控制引脚,控制引脚由控制模块I/O引脚给出的数字序列 $a_1(k)$ 至 $a_{2n}(k)$ 进行控制。超声芯片输出引脚OUT1至OUT8输出高能激励数字序列 $x_1(k)$ 至 $x_n(k)$,输出引脚由16针接线端子与超声传感

器连接,可激励选用的超声传感器 $h_n(t)$ 产生超声波。超声激励模块接收双极性直流电压源供电,直流电压正值接入VPP引脚,负值接入VNN引脚,超声激励芯片HV7351可接受的直流电压值最高为 $\pm 70V$,直流电压供电值E即为超声激励信号幅值,对直流电压供电值E进行调整即可控制超声激励信号的幅值,超声激励信号最大输出电流为 $\pm 3A$ 。同时,接入电容CPF、CNF、CPOS、CNEG,起到为芯片去耦合去纹波的作用。外围电路中,使能引脚OEN与REN的限流电阻起到保护芯片的作用,电源电容CH1至CH4起到防止电源冲激的作用。若需要该路超声激励信号为脉冲激励形式,则可通过调整控制引脚的逻辑时序来调整脉冲激励的激发开始时间,并且通过控制 $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 的值来控制该路脉冲激励为单向脉冲、正负双向脉冲或多个脉冲组合;通过调整控制引脚的逻辑电平持续时间 $G(t-k_{2n-1}\tau_{2n-1})$ 与 $G(t-k_{2n}\tau_{2n})$ 即可调节该路脉冲激励的脉冲宽度。若需要该路超声激励信号为编码激励形式,则需要结合编码形式对控制模块进行编程,对控制引脚的逻辑时序 $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 、逻辑电平持续时间 $G(t-k_{2n-1}\tau_{2n-1})$ 与 $G(t-k_{2n}\tau_{2n})$ 进行组合控制,从而产生多种调相编码或调频编码形式;例如,对逻辑时序 $b_{k_{2n-1}}$ 与 $b_{k_{2n}}$ 进行调整可进行编码激励的相位控制,对逻辑电平持续时间 $G(t-k_{2n-1}\tau_{2n-1})$ 与 $G(t-k_{2n}\tau_{2n})$ 进行调整可进行码元频率与编码长度的控制。

[0042] 在本发明实施例中,设选用的超声换能器时域响应模型 $h(t)$ 为:

$$[0043] \quad h(t) = \beta e^{-ct^2} \cos(2\pi f_0 t + \Phi)$$

[0044] 其中, β 为幅值系数, $c = \frac{1}{\gamma^2}$, γ 为脉宽系数, ω_0 为超声传感器中心频率, $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$, Φ 为初相位。则其频域响应模型 $H(\omega)$ 为:

$$[0045] \quad H(\omega) = \frac{1}{2} \sqrt{\pi} \beta \gamma e^{-\left(\frac{\omega-\omega_0}{2}\right)^2 \gamma^2}$$

[0046] 该路高能激励信号的时域表达式 $x_n(t)$ 为:

$$[0047] \quad \begin{aligned} x_n(t) &= \alpha_{2n-1}(k)EG(t - k_{2n-1}\tau_{2n-1}) - \alpha_{2n}(k)EG(t - k_{2n}\tau_{2n}) \\ &= \sum_{k_{2n-1}=1}^K \left[\frac{2}{\pi} b_{k_{2n-1}} EG(t - k_{2n-1}\tau_{2n-1}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2\left(\frac{m\pi}{2}\right) \sin(m\omega_{2n-1}t) \right] \\ &\quad - \sum_{k_{2n}=1}^K \left[\frac{2}{\pi} b_{k_{2n}} EG(t - k_{2n}\tau_{2n}) \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{m} \sin^2\left(\frac{m\pi}{2}\right) \sin(m\omega_{2n}t) \right] \end{aligned}$$

[0048] 其频域表达式 $X_n(\omega)$ 为

$$[0049] \quad X_n(\omega) = \sum_{k_{2n-1}=1}^K \frac{\tau_{2n-1} b_{k_{2n-1}} E}{\pi} \text{Sa} \left[\frac{(\omega - \omega_{2n-1}) \tau_{2n-1}}{2} \right] + \sum_{k_{2n}=1}^K \frac{\tau_{2n} b_{k_{2n}} E}{\pi} \text{Sa} \left[\frac{(\omega - \omega_{2n}) \tau_{2n}}{2} \right]$$

[0050] 则可根据 $y_n(t) = x_n(t) * h_n(t)$ 与 $Y_n(\omega) = X_n(\omega) \cdot H_n(\omega)$ 得到超声信号的时域与频域表达式

$$[0051] \quad y_n(t) = x_n(t) * h_n(t) = E\beta e^{-ct^2} [b_{k_{2n-1}} \cos(\omega_{2n-1}t + \Phi) + b_{k_{2n}} \cos(\omega_{2n}t + \Phi)]$$

$$[0052] \quad Y_n(\omega) = X_n(\omega) \cdot H_n(\omega)$$

$$[0053] \quad \begin{aligned} &= \frac{1}{2} \sqrt{\pi} \beta_{2n-1} \gamma_{2n-1} e^{-\left(\frac{\omega-\omega_0}{2}\right)^2 \gamma_{2n-1}^2} \sum_{n=1}^N \frac{\tau_{2n-1} b_{2n-1} E}{\pi} \text{Sa} \left[\frac{(\omega - \omega_{2n-1}) \tau_{2n-1}}{2} \right] \\ &\quad + \frac{1}{2} \sqrt{\pi} \beta_{2n} \gamma_{2n} e^{-\left(\frac{\omega-\omega_0}{2}\right)^2 \gamma_{2n}^2} \sum_{n=1}^N \frac{\tau_{2n} b_{2n} E}{\pi} \text{Sa} \left[\frac{(\omega - \omega_{2n}) \tau_{2n}}{2} \right] \end{aligned}$$

[0054] 即可由第 n 路高能激励信号 $x_n(t)$ 与该路超声传感器 $h_n(t)$ 得到该路超声信号 $y_n(t)$,实现多种形式的超声信号激励。

[0055] 图7与图8为本发明实施例的实施效果图,图7展示的是二进制编码激励000的实施效果,图8展示的是二进制编码101的实施效果。其中,(a)图展示的是控制模块中数字芯片I/O引脚输出的数字序列 $\alpha_{2n-1}(k) - \alpha_{2n}(k)$,由该组数字序列控制超声激励模块产生高能激励信号 $x_n(t)$ 。(b)图展示的是超声激励模块输出的高能激励信号 $x_n(t)$,在实施例中超声激励模块接受 $\pm 50V$ 直流电压源供电,改变直流电压源供电值即可改变超声信号幅值,(c)图展示的是由高能激励信号 $x_n(t)$ 激励超声传感器 $h_n(t)$ 得到的实测超声信号 $y_n(t)$ 。其中,信号的中心频率、相位、持续时间、重复频率、码元组合等参数均可通过编程改变控制模块输出的数字序列来进行调节。

[0056] 实施例中的说明仅是针对本发明可行性实施方式的具体展示,并非用以限制本发明的保护范围。凡是未脱离本发明技艺精神的等效实施方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。

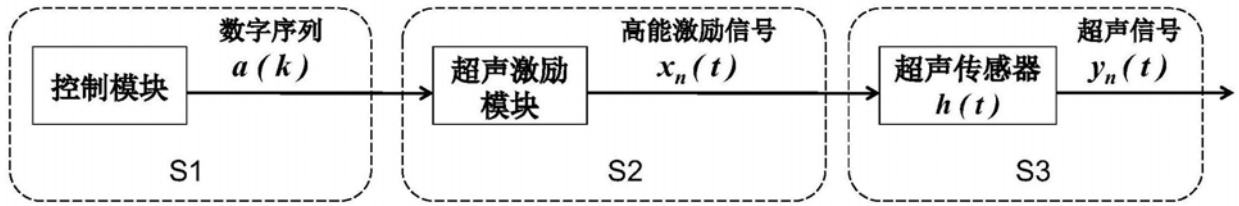


图1

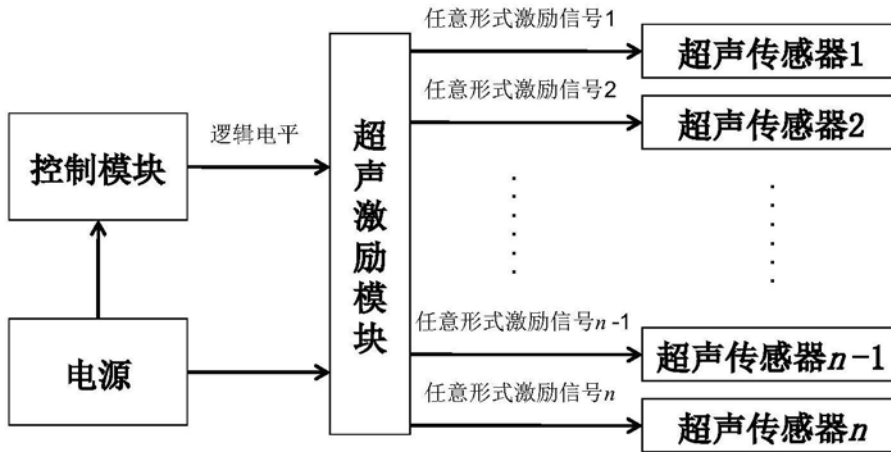


图2

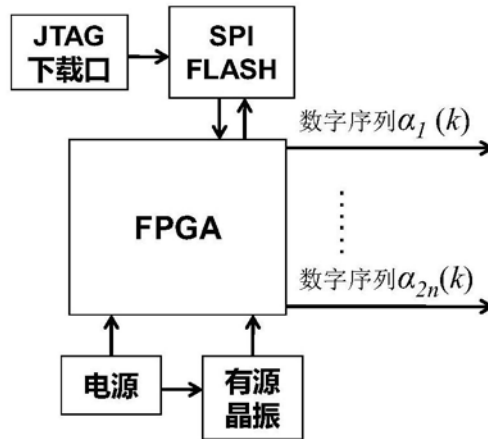


图3

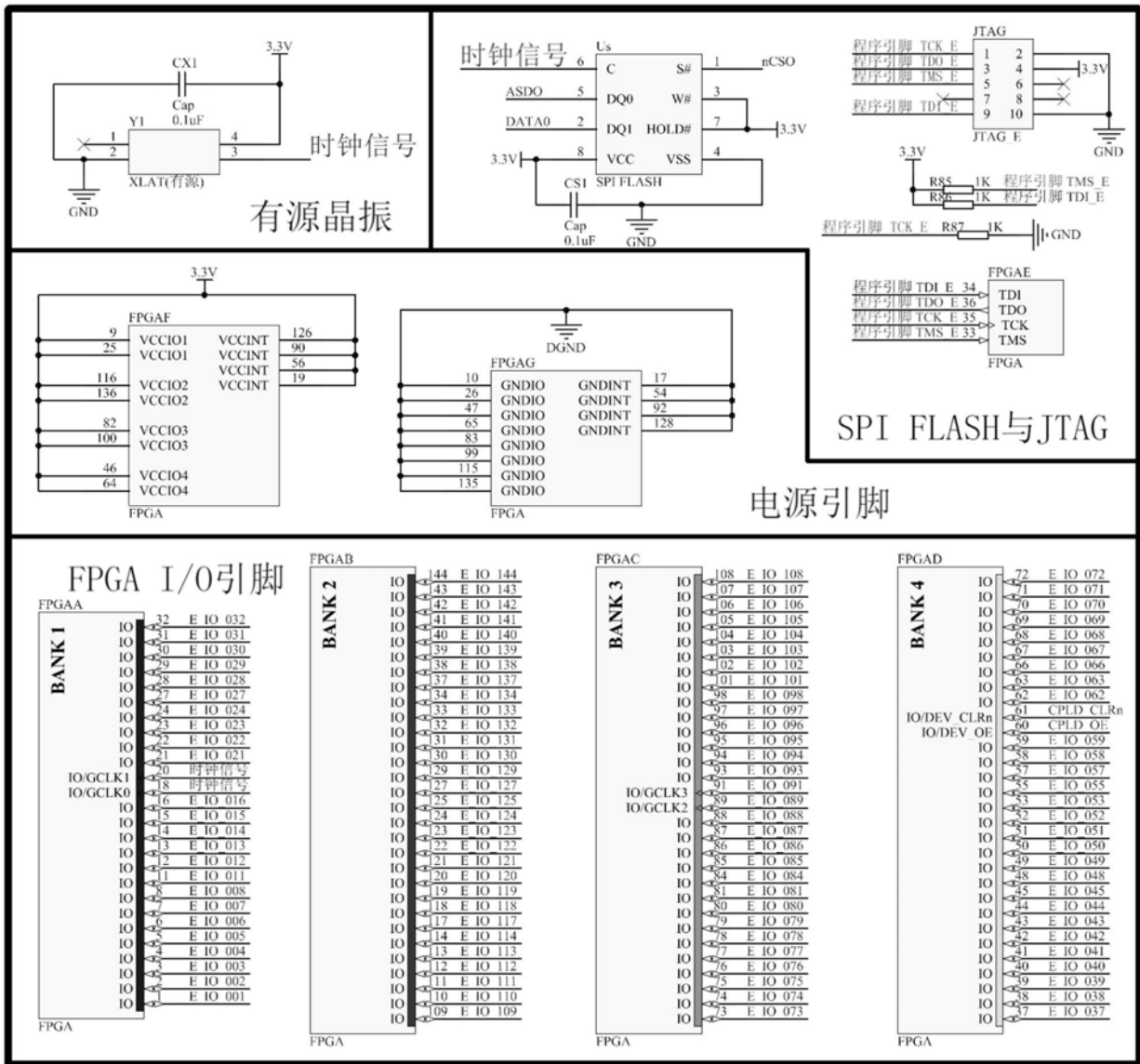


图4

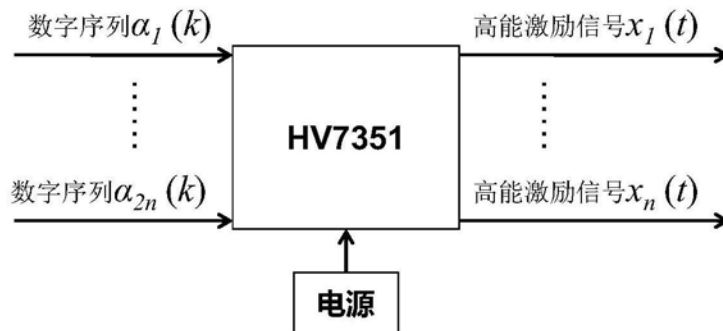


图5

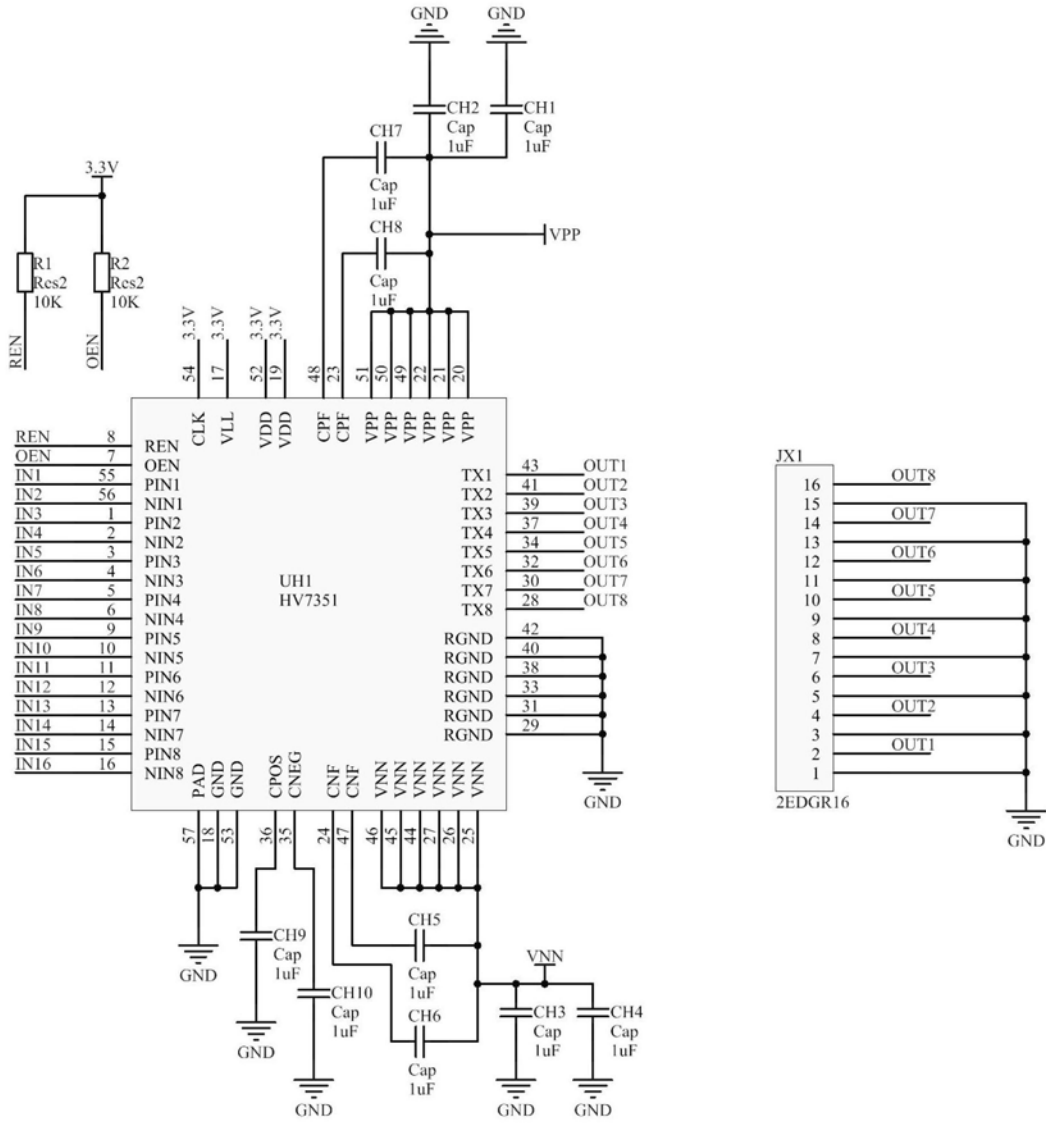


图6

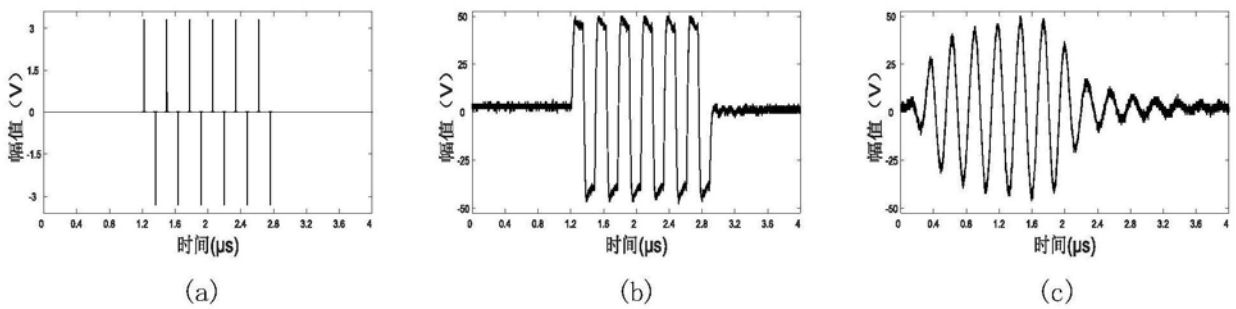


图7

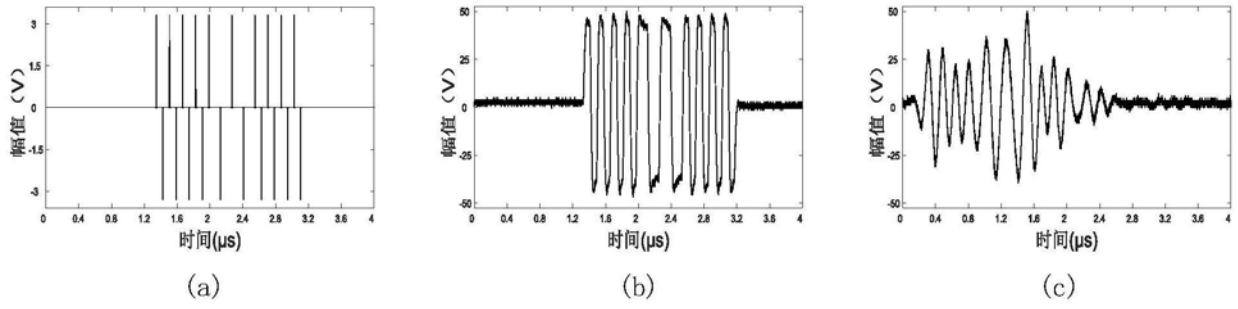


图8